

ALMA MATER STUDIORUM · UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

SCUOLA DI SCIENZE
Corso di Laurea in Informatica

**UNA RASSEGNA SUI SISTEMI DI
GEOLOCALIZZAZIONE PER
DISPOSITIVI MOBILI**

Relatore:
Chiar.mo Prof.
LUCIANO BONONI

Presentata da:
GIULIO CINELLI

Sessione 1
Anno Accademico 2013/2014

Introduzione

La geolocalizzazione è il processo tramite il quale è possibile mettere in relazione una certa informazione con un punto specifico della superficie terrestre, individuato tramite metodi di localizzazione (quindi il reperimento delle coordinate latitudinali e longitudinali) di un apparato elettronico, sfruttandone le caratteristiche fisiche o ricevendo informazioni dettagliate dallo strumento stesso. Nello specifico il concetto di geolocalizzazione enfatizza l'aspetto dinamico, riferendosi ad informazioni che possono essere aggiornate di frequente come la posizione e la velocità.

La possibilità di rendere dinamico il reperimento di tali informazioni e di poterle rilevare in maniera sempre più dettagliata deriva dalla combinazione di diverse tecnologie che si sono sviluppate nel ventunesimo secolo e che danno ora la possibilità ad ogni dispositivo di poterle comunicare in tempo reale. Grazie alle caratteristiche sopracitate di correlare con immediatezza le informazioni al singolo dispositivo e alla sua posizione geografica, è considerata tra i più rivoluzionari campi di sviluppo in ambito sociale ed economico, pur avendo potenziali problemi legati alla privacy e libertà individuale di non semplice soluzione.

In questa tesi analizzerò i vari metodi di posizionamento fino ad oggi studiati, sia *indoor* (all'interno di edifici) che *outdoor* (all'esterno).

Nel primo capitolo il documento presenta una riflessione storica sull'evoluzione del concetto di localizzazione, partendo dai primi tentativi di navigazione, fino ad arrivare ai più moderni sistemi tecnologici.

nel terzo e quarto capitolo esploro le tecniche esistenti rispettivamente per situazioni indoor e outdoor, tra cui GPS, localizzazione cellulare, sistemi a infrarossi, sistemi a onde radio e a ultrasuoni. Mi soffermerò inoltre sui vantaggi offerti da nuovi dispositivi con gli *smartphones*.

Nel quinto capitolo analizzerò le caratteristiche di ogni sistema, comparandole tra di loro.

Farò poi riferimento ad alcuni casi reali di utilizzo di tali tecnologie, prima di concludere con alcune considerazioni personali.

Indice

Introduzione	i
1 Storia	1
2 Metodi	5
3 Localizzazione Outdoor	9
3.1 Sistemi di localizzazione	9
3.1.1 GPS	9
3.1.2 Localizzazione cellulare	12
3.1.3 Altri sistemi	13
4 Localizzazione Indoor	17
4.1 Sistemi di localizzazione	18
4.1.1 Infrarossi	18
4.1.2 Frequenze radio	19
4.1.3 Ultrasuoni	25
4.1.4 Ultra-Wideband	26
4.2 Smartphone	28
5 Comparazioni	33
6 Casi d’Uso	39
6.1 Scenari Outdoor	39

6.2 Scenari Indoor	41
Conclusioni	45
Bibliografia	47

Elenco delle figure

1.1	Sputnik 1, immagine da http://nssdc.gsfc.nasa.gov/	2
2.1	Esempio di AOA in ambiente esterno	6
3.1	Triangolazione GPS	10
3.2	GPS classico e A-GPS	12
3.3	Triangolazione tramite antenne cellulari	13
3.4	Sistema RECCO per soccorsi	14
4.1	Schema tag e lettore RFID	20
4.2	Tag RFID passivo	21
4.3	Sistema di posizionamento WLAN	23
4.4	Dispositivi con tecnologia Bluetooth	24
4.5	Active Bat	26
4.6	Posizione tra smartphone connessi in locale	30
4.7	Posizione tramite audio su smartphone	32
5.1	Comparazione tra i sistemi di localizzazione	36
6.1	Esempio di localizzazione in ospedale	43

Elenco delle tabelle

5.1	Panoramica sui sistemi analizzati	38
-----	---	----

Capitolo 1

Storia

Le prime tracce di studi sulla localizzazione e georeferenziazione che ci pervengono risalgono agli antichi greci. È infatti in questo periodo, prima dell'avvento delle mappe, che la propria posizione inizia ad essere un dato fondamentale per i vari spostamenti marittimi e terrestri. Per riuscire a compiere tali misurazioni senza gli attuali mezzi tecnologici, si affidavano agli astri tramite la tecnica chiamata triangolazione stellare. Tale tecnica consentiva ai marinai una bassa approssimazione ed era inoltre del tutto dipendente da agenti esterni quali: foschia, nuvole, ciclo notte-giorno, ciclo delle stagioni e posizione.

Da questa fase iniziale, per poter ricominciare a parlare di passi in avanti nello studio in questo ambito, si deve passare al XX° secolo. In particolar modo nel 1904 quando Christian Hülsmeier depositò il primo brevetto di radiolocalizzatore che, sebbene fosse inizialmente utilizzato per studiare l'altezza degli strati riflettenti dell'atmosfera terrestre, venne e successivamente impiegato dalle marine militari di Inghilterra e Stati Uniti d'America per individuare gli aerei nemici durante le guerre mondiali. Il principio su cui si basava il radiolocalizzatore di Hülsmeier era quello di far riflettere una radio frequenza su un bersaglio metallico e aspettarne il ritorno; questo permetteva quindi di sapere se nella direzione analizzata era presente o meno un oggetto

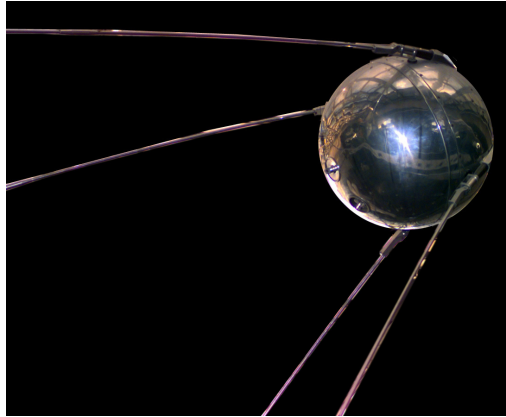


Figura 1.1: Sputnik 1, immagine da <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/>

metallico, ma non la sua distanza dal trasmettitore.

Una nuova svolta si ebbe dopo i due conflitti mondiali quando, forti delle tecnologie militari sviluppate negli anni precedenti, i russi portarono il primo satellite artificiale nello spazio. Lo Sputnik 1 fu lanciato il 4 ottobre 1957, consisteva in una sfera contenente due trasmettenti e quattro lunghe antenne, e rimase in orbita per 22 giorni.

Questo primo tentativo riuscito scatenò una vera e propria corsa allo sviluppo di tecnologie di assistenza alla localizzazione per mezzi e persone. Tutte le potenze mondiali parteciparono con vari progetti, alcuni ancora oggi funzionanti, che si basavano principalmente su posizione satellitare. Il più noto e maggiormente usato è il sistema lanciato nel 1978 dall'aeronautica militare americana: il GPS (Global Positioning System)[19]. Anche i russi hanno continuato lo sviluppo della tecnologia, portando alla luce il progetto GLONASS[26] lanciando tra il 1967 e il 1978 il primo satellite artificiale. Questo progetto, raggiunto l'apice di utilizzo nel 1996 quando erano in orbita ventitrè satelliti funzionanti, disponeva di un'accuratezza in orizzontale di 55 metri, verticale 70 metri, quando il ricevitore era in vista di quattro satelliti. Oggi il sistema è stato liberalizzato per usi civili e rimane operativo[27].

Il sistema GPS è ad oggi uno dei migliori strumenti per determinare la posizione di un dispositivo connesso alla satellitare dedicata, creata da numerosi satelliti geostazionari che orbitano attorno alla terra. Oltre alla posizione è molto importante sottolineare che il sistema GPS è in grado di determinare velocità ed orario in qualsiasi condizione meteorologica. Questo innovativo sistema, nato per scopi militari grazie alla marina militare statunitense[1], venne aperto al mondo per usi civili nel 1991 e già dai primi anni vennero studiati ricevitori miniaturizzati, e quindi portabili, che permisero di sfruttare tale tecnologia su larga scala.

Negli ultimi anni siamo stati abituati ad utilizzare tale tecnologia per gli scopi più disparati: dal geotagging (processo tramite il quale si aggiungono informazioni, foto o altri media, a un luogo geografico), al navigatore stradale e alla tecnologia del GPS. Grazie all'avvento degli *smartphones* si sono aggiunti altri metodi, come il reperimento tramite celle di trasmissione cellulare (GSM), tramite l'ottenimento dell'indirizzo IP della rete senza fili a cui è connesso il telefono, o le più recenti near field communication, capaci di stabilire connessioni tra dispositivi molto vicini tra loro in genere in ambienti chiusi.

Proprio sulle tecnologie di localizzazione in ambienti interni si sta concentrando la ricerca degli ultimi anni, sfruttando tecnologie esistenti o applicandone di nuove.

Capitolo 2

Metodi

Tutti i sistemi di localizzazione sono composti da due fasi: reperimento dei dati e elaborazione. In seguito vedremo una descrizione sui principali sistemi che caratterizzano il reperimento delle informazioni in ambiente esterno (outdoor) e in quello interno (indoor).

In questa sezione invece vedremo quali sono i metodi per riuscire a calcolare la posizione dei dispositivi mobili, in base al tipo di dati che si è riusciti ad ottenere.

I metodi che le tecnologie utilizzano per il calcolo della posizione sono:

- Angolo di arrivo (AOA) dove la posizione è determinata dalla direzione dei segnali in entrata inviati da altri trasmettitori la cui posizione è nota e il cui segnale è direzionale. Si usa poi una tecnica di triangolazione per calcolare la posizione del dispositivo[28].
- Cell Identity (CI) dove viene letto l'identificativo delle celle e si considera la posizione vicina a quella della cella trasmittente. Questo metodo è molto impreciso soprattutto se connessi ad una cella con raggio di azione molto ampio[29]. Oltre all'uso tramite cellulare, si può usare questa tecnica anche in ambienti interni calcolando la posizione dal collegamento o meno del dispositivo ad una fonte di segnale.

- Orario di Arrivo (TOA) misura l'andata e ritorno in tempo del segnale, triangolandolo sulle antenne disponibili. L'accuratezza è molto elevata ma dipende fortemente dalla precisione degli orologi dei dispositivi.
- Potenza del segnale utilizza le proprietà di attenuazione dovute alla propagazione del segnale per determinare la posizione del dispositivo mobile (Received signal strength - RSS)[30].

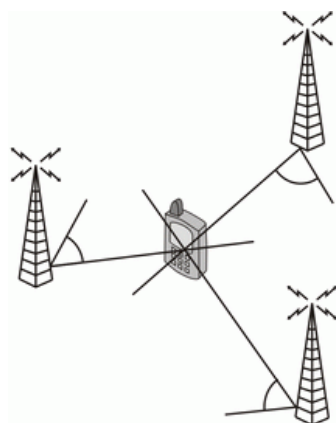


Figura 2.1: Esempio di AOA in ambiente esterno

Questi metodi sono i più diffusi in ambiente esterno, ma possono essere adeguati anche per le situazioni indoor che ne presentano la possibilità[28].

Quasi esclusiva invece per quanto riguarda ambienti ristretti è la tecnica di **Location Fingerprinting**[23]. Tale tecnica è relativamente più semplice delle tecniche di angolo di arrivo (AOA) oppure tempo di arrivo (TOA), e consente di essere effettuata senza un Hardware specializzato, semplicemente riutilizzando una rete LAN già esistente.

Il reperimento della posizione tramite questa tecnica può essere diviso in due fasi.

La prima fase consiste nel mappare offline la zona di interesse, tramite la

potenza di segnale tra il dispositivo e l'access point. L'area mappata viene quindi salvata nel database. Ad oggi non ci sono ne' indicazioni sulla densità di punti intensità di segnale, ne' quanti access point è necessario vedere per una buona precisione di calcolo.

La seconda fase è detta fase on-line: il dispositivo mobile invia ad un server centrale i dati relativi alla potenza di segnale rilevato durante lo spostamento dell'utente. Il server determinerà quindi la posizione del dispositivo utilizzando la mappatura precedentemente effettuata, i dati ricevuti dal dispositivo mobile e un algoritmo specializzato. I piu comuni algoritmi per determinare la posizione, computano la distanza euclidea tra le potenze RSS rilevate e le confronta con ogni *fingerprints* nel database[23].

Tale tecnica è però ancora oggetto di sviluppo, per determinare quanto la granularità delle informazioni mappate nella prima fase incida sul risultato finale. Una griglia di punti poco densa avrà uno scarto di posizione molto elevato, ma anche una troppo densa potrà risultare dannosa in quanto i punti mappati saranno troppo vicini uno con l'altro per determinare la reale posizione rispetto al dispositivo.

Capitolo 3

Localizzazione Outdoor

La localizzazione all'esterno di edifici è stata, fin dall'inizio del secolo scorso, un fiorente ambito di ricerca. Vediamo qui ora alcuni dei sistemi più diffusi per tale pratica.

3.1 Sistemi di localizzazione

3.1.1 GPS

Il Global Positioning System è ad oggi il sistema più preciso per la rilevazione della posizione e della velocità di un ricevitore sulla terra in ambiente esterno. Il modello è composto da tre segmenti[8]: spaziale, di controllo e quello utente a terra. Di questi tre segmenti quello spaziale e quello di controllo sono gestiti dalla aeronautica militare statunitense[25], e sono composti rispettivamente da 24-36 satelliti in orbita e da stazioni di controllo e antenne sulla Terra.

Il segmento di controllo è composto da una stazione di controllo principale, una stazione di controllo alternativa, e una serie di antenne terrestri dedicate e condivise e stazioni di monitoraggio.

Il segmento utente è composto da centinaia di migliaia di utenti militari

e decine di milioni di utenze civili, commerciali e scientifici del servizio di posizionamento standard.

Funzionamento

Il principio di funzionamento si basa su un metodo di posizionamento sferico, che parte dalla misura del tempo impiegato da un segnale radio a percorrere la distanza satellite-ricevitore.

In particolare ogni satellite trasmette in continuazione due informazioni chiave: la propria posizione e l'orario esatto di trasmissione del messaggio. Queste informazioni servono al ricevitore per riuscire a calcolare, tramite i metodi di TOA, la propria posizione triangolandola rispetto a quella inviata dai tre satelliti. È quindi necessario l'intervento di un quarto satellite che serve al ricevitore per sincronizzare l'orologio interno, in modo che i calcoli effettuati dal ricevitore siano corretti.

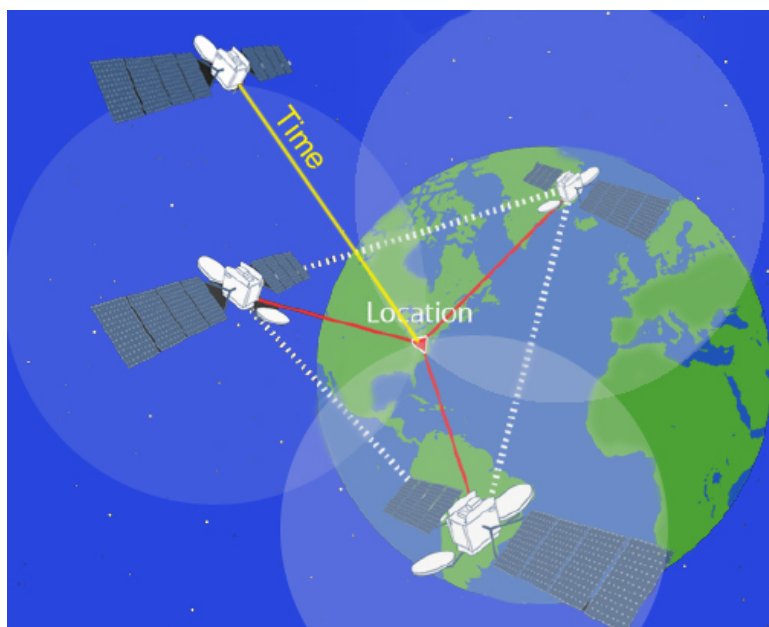


Figura 3.1: Triangolazione GPS

Per questo motivo il quarto trasmettitore invia periodicamente l'orario corretto, calcolato tramite un orologio atomico al cesio, e permette quindi di calcolare la distanza degli altri satelliti in base allo scarto di tempo necessario alla trasmissione del messaggio.

Il sistema GPS deve la sua grande precisione all'aperto all'elevato numero di satelliti che ruotano attorno alla terra, che permette sempre ad ogni dispositivo sulla superficie di ricevere il segnale dai quattro satelliti necessari[24]. L'accuratezza del sistema GPS è calcolata intorno a 1-5 metri, ma dipende dalla posizione. Inoltre il sistema offre maggiore precisione per gli ambiti militare rispetto a quelli civili.

Svantaggi

Lo svantaggio principale del GPS è quindi sicuramente quello di non poter essere utilizzato in ambienti chiusi. Le motivazioni sono di facile intuizione e vanno dalla mancanza di segnale tra i satelliti e il dispositivo di ricezione, alle gravi interferenze di rimbalzo che si hanno tra gli edifici. Pur considerando questo fattore, l'impiego di tale tecnologia nei moderni *smartphone* è molto diffuso. Pur essendo notevole la precisione con la quale il cellulare riesce a stabilire la propria posizione, possiamo elencare ulteriori svantaggi.

Quello più evidente è il consumo di batteria, che viene fortemente innalzato dall'utilizzo del GPS per l'impiego massiccio di risorse Hardware e di connessioni ai satelliti in vista. Altro problema presente in questo sistema applicato a device come gli *smartphones* è la relativa lentezza con la quale il dispositivo riceve la posizione iniziale; per stabilire la prima ricerca dei satelliti in vista si parla infatti di un tempo che varia tra i 45 e i 90 secondi[32], rendendo così inutilizzabili molti servizi come il geotagging che richiedono un tempo di reazione veloce e un utilizzo breve. Per risolvere quest'ultimo problema, negli ultimi anni, si è studiato un sistema ibrido chiamato A-GPS (Assisted GPS), il quale sfruttando sempre la ricezione satellitare, consente al dispositi-

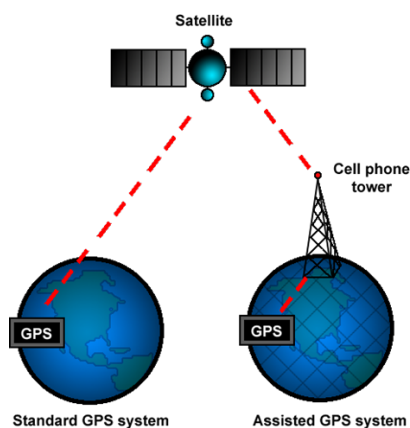


Figura 3.2: GPS classico e A-GPS

tivo mobile di ricevere la posizione iniziale dalle celle radio a cui è connesso, le quali a loro volta ricevono i dati in maniera continuativa dai satelliti in vista.

In questo modo le antenne radio trasmettono la lista dei satelliti visibili al dispositivo il quale non dovrà più impiegare risorse per tale ricerca iniziale.

3.1.2 Localizzazione cellulare

La localizzazione cellulare[29] è meno precisa di quella GPS, ma è praticabile anche in quei dispositivi mobili che non sono dotati di ricevitore GPS.

Funzionamento

Questo metodo di calcolo della posizione sfrutta le antenne radio a cui ogni cellulare è connesso per la ricezione **GSM** (Global System for Mobile Communications) o **UMTS** (Universal Mobile Telecommunications System) per i servizi di telefonia mobile. Le antenne sono posizionate sulle cosiddette celle le quali hanno un raggio di trasmissione che dipende da molti fattori

tra i quali la densità di terminali connessi contemporaneamente e la potenza trasmessa.

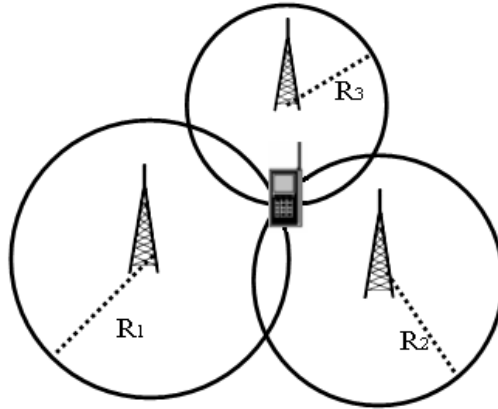


Figura 3.3: Triangolazione tramite antenne cellulari

È quindi facile trovare antenne radio ogni 600-800m in città, mentre sono più distanziate in campagna dove possono arrivare a 2-3km. Questo fattore di densità delle celle è molto importante per determinare la posizione di un ricevitore in maniera precisa: tutti gli algoritmi sono infatti vincolati dal numero di celle che possono “vedere” e dalla potenza di segnale ricevuto.

3.1.3 Altri sistemi

In aggiunta ai sistemi GPS e triangolazione da rete cellulare, si può avere un'approssimazione della localizzazione del dispositivo anche grazie al **tracciamento dell'indirizzo IP** (internet protocol) fornito dal provider a cui il dispositivo è connesso. Tale tecnica, non molto precisa, agisce trasmettendo l'indirizzo IP tramite il protocollo WHOIS[33], che lo controlla all'interno di database[34] i quali mantengono traccia del punto di connessione di ogni nodo della rete.

Studiato per situazioni di pericolo come le valanghe di neve in montagna, un altro sistema di geolocalizzazione interessante è **RECCO**[35]. Questo

sistema è formato da due parti: un riflettore posizionato all'interno dell'attrezzatura per la montagna e un rilevatore utilizzato dai soccorsi.

Grazie alle sue dimensioni ridotte, il riflettore può essere inserito all'interno di giacche o scarponi, garantendo il minimo ingombro. Composto da un paio di antenne collegate con un diodo, il riflettore garantisce durata illimitata in quanto non ha bisogno di batterie per funzionare.

In caso di valanghe i soccorritori utilizzeranno il rilevatore, il quale emette un impulso direzionale che, riflettendo contro il ricevitore, ne segnala la posizione. A causa della presenza del diodo, l'impulso che viene ritrasmesso



Figura 3.4: Sistema RECCO per soccorsi

dal riflettore al rilevatore ha frequenza raddoppiata, in questo modo è facile non confondersi con altri agenti come semplici pezzi di metallo. Il raggio di azione è dipendente dalla potenza del trasmettitore, che può essere utilizzato da soccorritori a piedi o anche in elicottero, sorvolando l'area d'interesse.

I limiti di tale tecnologia sono dovuti all'impossibilità di dare la segnalazione di necessità soccorso direttamente dalla vittima, in quanto il riflettore ha un'azione puramente passiva. Inoltre le onde radio che vengono prodotte

dal trasmettitore risentono dell'assorbimento da parte del corpo umano o di neve molto bagnata.

Capitolo 4

Localizzazione Indoor

La localizzazione indoor (all'interno di ambienti) è una sfida che può richiedere un'accuratezza a livello di metri, ma anche di centimetri per poter indirizzare una persona in modo affidabile all'interno di un ambiente chiuso, oppure individuare la posizione di un oggetto all'interno di una stanza. Tuttavia, per la localizzazione indoor, l'obiettivo va oltre a quello di fornire una guida per una certa destinazione, offrendo un'ampia gamma di applicazioni basate sulla posizione.

Come abbiamo visto nel capitolo precedente, in ambienti esterni la tecnologia GPS ha rivoluzionariamente dominato il mercato della localizzazione, mentre per la localizzazione interna non esiste una tecnologia dominante o una tecnica che possa essere utilizzata in tutti i casi. Vi è inoltre una maggiore complessità dovuta ad ostacoli presenti all'interno di edifici, come muri, persone o materiale, che rendono difficile la normalizzazione di tali tecnologie. Andremo quindi a vedere quali sono i principali modelli di calcolo della posizione e quali sono gli utilizzi pratici che queste tecnologie ci possono offrire.

4.1 Sistemi di localizzazione

In ambienti domestici, sul luogo di lavoro, in auto o in altri ambienti interni, è importante capire che, vista la mancanza di segnale GPS adeguato, si possono sfruttare i dispositivi che ci circondano ogni giorno per poter creare una rete personale (Personal Network), che lavori al servizio dell'utente. La rete personale[6] è trasparente all'utente, collega i device che possono utilizzare tecnologie differenti e deve garantire sicurezza e privacy. I dispositivi connessi a questa rete possono trovarsi in luoghi diversi, ma cooperano tra loro per formare una rete al servizio dell'utente.

Il sistema di posizionamento che si va a creare sfrutta una molteplicità di dispositivi, i quali offrono diverse misurazioni. Le informazioni di possibile interesse saranno riguardo la posizione assoluta, quella relativa e di prossimità. Per la posizione assoluta è necessario essere preventivamente forniti della mappa dell'edificio, che verrà utilizzata per il tracciamento e i servizi di guida dell'utente. Altro tipo di informazione che è possibile ricevere da tale sistema è quella di posizione relativa che misura il movimento delle diverse parti del nostro obiettivo. Ultimo dato reperibile è quello della posizione in prossimità di agenti noti, che può essere utilizzata per sapere se l'utente è in una determinata stanza o no.

4.1.1 Infrarossi

Il sistema di posizionamento basato su infrarossi (IR) è il più comune sistema per la posizione. Questo è dovuto al fatto che la tecnologia IR è presente in molti dispositivi come televisori, cellulari e stampanti.

Il sistema offre dati relativi alla posizione assoluta del device e ha bisogno di una una connessione diretta tra il trasmettitore e il ricevitore, senza interferenze come una fonte luminosa molto forte.

Tale tecnica ha trovato molti sviluppi pratici come quello degli **Active Bad-**

ge[36], basato sulla connessione tra un trasmettitore trasportato dall'utente e vari ricevitori nella stanza. Altra tecnica è quella denominata **Firefly**[37]. Questa aggiunge una notevole accuratezza grazie all'ausilio di più tag (ricevitori in dotazione all'utente), un controllore e una serie di camere disposte su barre distanziate 1 metro.

I sistemi di posizionamento che sfruttano la tecnologia IR possono trovare ancora oggi molte applicazioni. Un utilizzo, studiato da J. Krejsa e S. Vechet, prevedeva l'utilizzo di tale tecnologia per valutare la posizione, la velocità e la rotazione che poteva assumere un robot in una stanza[2]. Questo tipo di sistema di posizionamento però presenta molti svantaggi: oltre ad avere problemi legati alla privacy e la sicurezza, sono soggetti a svariati tipi di interferenze, anche dalla luce solare, e limitati al contesto di una stanza, in quanto il collegamento deve essere diretto. Sono inoltre sistemi molto costosi che impiegano Hardware specifico per la connessione tra i sensori, che sarebbero la parte più economica, e i sistemi di rilevazione.

4.1.2 Frequenze radio

Le tecnologie a frequenze radio sono utilizzate in larga scala nei sistemi di posizionamento indoor. Svariate sono le peculiarità che possono offrire tali tecnologie, ma la più significativa è la possibilità da parte delle onde di attraversare muri, pareti e persone. Questo le rende utilizzabili su ambienti molto più vasti rispetto ai sopracitati infrarossi, potendo coprire interi edifici con pochi trasmettitori. Vi è inoltre l'aspetto economico che gioca a favore di queste tecnologie: è infatti possibile utilizzare dispositivi di trasmissione già presenti nelle abitazioni o uffici odierni, come ad esempio access point per le WLAN.

I metodi di triangolazione e fingerprinting sono utilizzati in sistemi RF (Radio Frequency). In particolar modo è si rivela molto utile il fingerprinting in

edifici complessi, con molti ostacoli, nei quali è possibile mappare la potenza del segnale dalla fonte al ricevitore e avere quindi una precisione maggiore.

RFID

Una delle prime tecnologie che si basano su onde radio è quella degli RFID[11] (Radio Frequency IDentification). Sviluppata in ambito militare fin dal dopoguerra, a partire dagli anni '60 trovano utilizzo nei più ambiti, come ad esempio su autovetture per il riconoscimento ravvicinato, ed ancora oggi sono utilizzati ai caselli autostradali per i pagamenti automatici.

Gli RFID possono essere di due tipi: passivi o attivi. Per i primi ci si rife-

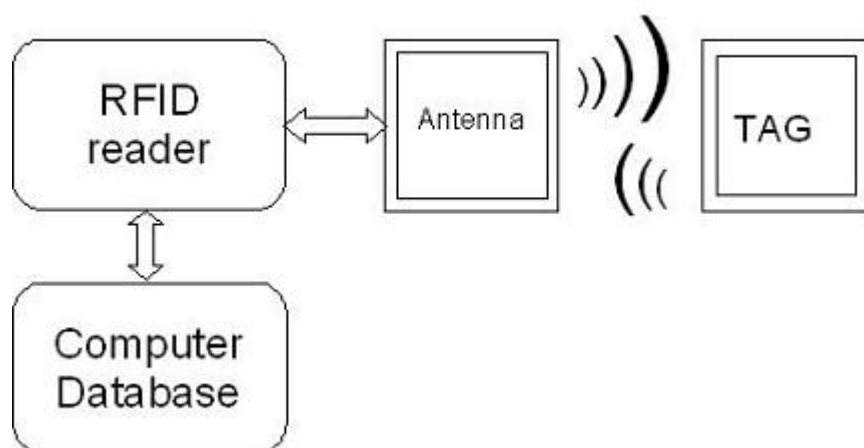


Figura 4.1: Schema tag e lettore RFID

risce a ricevitori tracciabili chiamati tag, che sono economici e di dimensioni ridotte. Vennero infatti impiegati come sostitutivi dei codici a barre e lavorando in assenza di batteria, questi tag operano riflettendo il segnale radio trasmesso dal lettore, modulandolo in modo da aggiungere informazioni sulla propria identità.

Lo svantaggio risiede nel fatto che la portata di tali tag è limitata a 1-2 metri e il costo del lettore è molto elevato. Inoltre, come descritto in *Search for a*

Needle in a Haystack: an RFID-based approach for efficiently locating objects di Wang, Xie e Lu, è molto difficile avere una precisione accettabile in ambienti ristretti. Nel loro esperimento infatti, l'obiettivo principale era quello di poter fornire un servizio di localizzazione di oggetti comuni, come chiavi di casa o telecomandi, tramite RFID passivi. Come descritto nell'articolo i problemi per riuscire a determinare la posizione erano dovuti alla distanza del tag rispetto all'antenna e alla sua posizione relativa. In base ai test da loro effettuati, anche la rotazione del tag rispetto al proprio asse influiva in maniera evidente sulla precisione di calcolo. Basandosi inoltre sulla potenza del segnale ricevuto (RSS) vi è inoltre la possibilità che sia l'antenna del lettore a generare parte del disturbo, essendo direzionata male o troppo lontana dall'obiettivo[22].

La soluzione da loro studiata prevede quindi un robot che, in base ai dati



Figura 4.2: Tag RFID passivo

RSS registrati in tempo reale, corregge la direzione dell'antenna e si avvicina al tag. In questo modo la distanza di errore scende da 2-3 metri che si avrebbero con la localizzazione da rete WLAN, a 60 centimetri. Inoltre i tempi che impiega il robot a calcolare la posizione sono dell'ordine dei 60 secondi.

Molto più precisi sono invece i tag attivi, i quali trasmettono il loro identificativo e altre informazioni al ricevitore. Questo permette di avere inoltre

un raggio di azione molto più ampio, determinato dalla potenza del tag. Vengono generalmente utilizzati in grosse catene di montaggio per tenere monitorati i pezzi più costosi.

Una tecnologia che si basa su tali tag è **LANDMARC** [11]. Questa tecnica si pone l'obiettivo di incrementare l'accuratezza del calcolo e di abbassare il numero di lettori RFID presenti nel sistema. Per farlo utilizza il concetto di Tag referenziati. Questi Tag altro non sono che Tag attivi ai quali però è stata data una posizione fissa. Lo scopo diventa quindi riuscire a capire la posizione del lettore in relazione alla potenza del segnale ricevuto dai vari tag sparzi nell'ambiente. In questo modo il numero dei costosi lettori è abbattuto e la precisione con la quale si può determinare la posizione è elevata. Tale precisione è data dalla possibilità di conoscere a priori la posizione dei tag referenziati a cui ci si sta collegando.

La relativa praticità con la quale è possibile dotare utenti o dispositivi di tale tecnologia, la rende una delle più utilizzate in grandi ambienti pubblici, ma può provvedere solamente all'identificazione della presenza e della posizione relativa del tag. Per la posizione assoluta o quella di prossimità dovrà essere integrata da altre strutture che cooperano con essa[6].

WLAN

Altra tecnologia che si basa su onde radio è la WLAN (Wireless Local Area Network). Diventata molto popolare grazie alla standardizzazione della frequenza a 2.4 GHz, la possiamo trovare ormai in qualsiasi hotspot pubblico, piccola impresa o reti domestiche. Il punto di forza di questa tecnologia è quindi quello di sfruttare le infrastrutture già presenti, aggiungendo un server di controllo per elaborare le informazioni. Studi su questo tipo di approccio hanno portato alla diffusione di sistemi come il **RADAR**[38] che combina la lettura della potenza del segnale Wireless con l'algoritmo NNSS (Nearest Neighbor in Signal Space) per determinare la posizione assoluta del sogget-

to. Altri sistemi utilizzano ricetrasmittitori wireless integrati con i sistemi già presenti in *laptop* o *smartphone*.

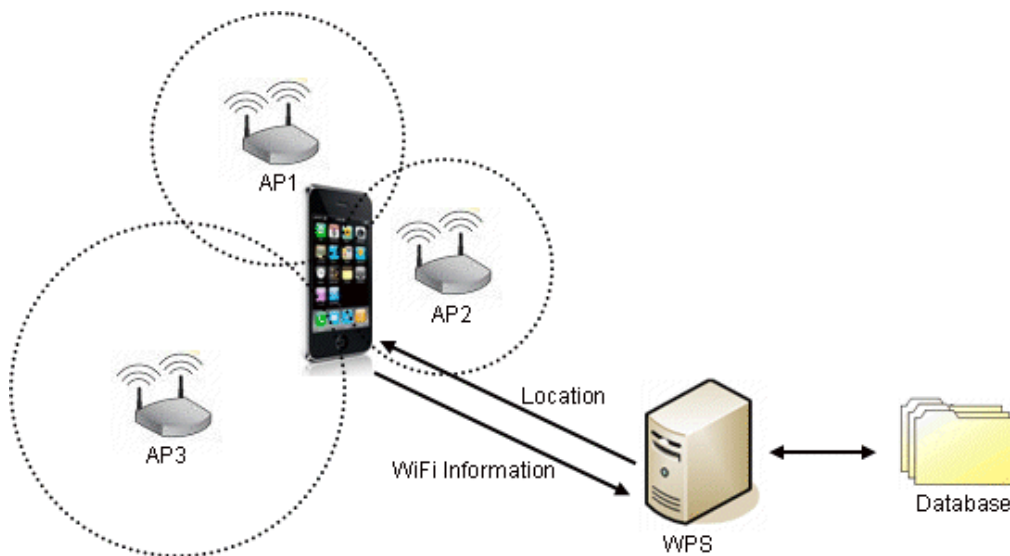


Figura 4.3: Sistema di posizionamento WLAN

Tale tecnologia, pur avendo un ottimo impatto economico, è però limitata dalla complessità degli ambienti interni e dalla presenza di persone nell'area di monitoraggio. Basandosi infatti sulla frequenza a 2.4 GHz, le onde vengono assorbite dal corpo umano, poichè composto al 65% di acqua, rendendo così meno accurato il rilevamento della potenza di segnale. Anche utilizzando la tecnica del fingerprinting non si avrebbero risultati migliori al crescere del numero di utenti del sistema.

Bluetooth

Ultimo sistema che tratterò basato sulle frequenze radio è quello del Bluetooth [5, 6]. Nato per sostituire le porte infrarossi sui dispositivi cellulari, il bluetooth offre una pico-rete di 100 metri e deve la sua grande diffusione

al grande sviluppo che ha reso possibile la connettività a bassi costi tra più dispositivi provvisti di tale tecnologia.

Le caratteristiche che portano all'impiego dei un dispositivo bluetooth per la localizzazione indoor sono molte: dimensioni ridotte, setup e configurazioni veloci, basso consumo di batteria e la possibilità di determinare la distanza tra gli interlocutori connessi.

La tecnologia bluetooth è utilizzata nel sistema denominato Topaz [5] che sfrutta le peculiarità della connessione bluetooth tra tag e server. I dati vengono poi elaborati da un altro server il quale li combina con altri parametri derivanti da tecnologie IR. Questo approccio ibrido permette al server di localizzare decine di oggetti contemporaneamente, anche se il per avere una maggiore precisione in caso di movimento, sarà richiesto un consumo di batteria aggiuntivo e tempi tra una verifica e l'altra minori.

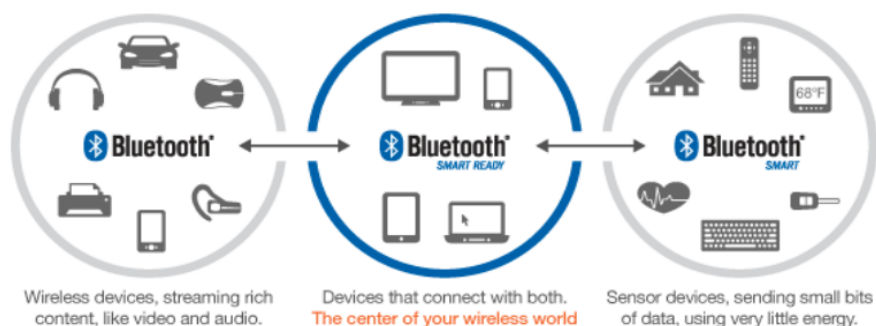


Figura 4.4: Dispositivi con tecnologia Bluetooth

La tecnologia Bluetooth rende il sistema di localizzazione indoor economico, sfruttando device con tale tecnologia, e a basso consumo energetico. Questo però incide sulle performance, avendo una accuratezza di 2 o 3 metri, con uno scarto di 20 secondi tra due verifiche di posizione [6, 7].

4.1.3 Ultrasuoni

Il sistema a segnali ultrasonici è usato dai pipistrelli per spostarsi di notte e ha ispirato, negli ultimi anni, molti sistemi di localizzazione.

Il sistema **Active Bat**[6] utilizza segnali ad ultrasuoni e tramite la triangolazione di un trasmettitore trasportato dall'obiettivo determina la posizione della persona. Il dispositivo periodicamente emana un impulso ad ultrasuoni. Questo impulso è ricevuto da una matrice di celle montate in posizioni note. Le tecniche utilizzate per ricavare la posizione sono quelle di TOA e triangolarizzazione delle onde ricevute dai vari sensori della matrice. In questo modo è possibile, in base alla complessità della matrice, determinare anche la posizione 3D della persona.

Il dispositivo richiesto è economico e trasportabile, ma specifico per l'utilizzo. Inoltre il consumo di batteria è limitato e la manutenzione scarsa. Un sistema basato su Active Bat è fornito di più controllori centrali, i quali possono monitorare fino a 3 trasmettitori contemporaneamente con un'accuratezza di 3 cm.

Le performance di tale sistema sono però influenzate dalla presenza di ostacoli che riflettono le onde sonore. Inoltre è importante la posizione della matrice di sensori, che risulta essere complessa e costosa da installare.

Altro sistema basato su ultrasuoni è **Cricket**[31]. Questo sistema è incentrato sull'offrire privacy e sicurezza all'utente. Questo modello è studiato mediante il sistema inverso a quello visto con gli Active Bat. I trasmettitori di segnale ultrasonico sono infatti posizionati fissi in locazioni prestabilite. I ricevitori invece vengono apposti sull'obiettivo da localizzare. I trasmettitori emettono, oltre alle altre informazioni, messaggi di sincronizzazione in modo da poter operare tramite TOA. La privacy del sistema è garantita perchè i calcoli per la triangolarizzazione vengono effettuati all'interno del ricevitore in dotazione all'utente. Non vengono quindi trasmessi, a meno di specifiche

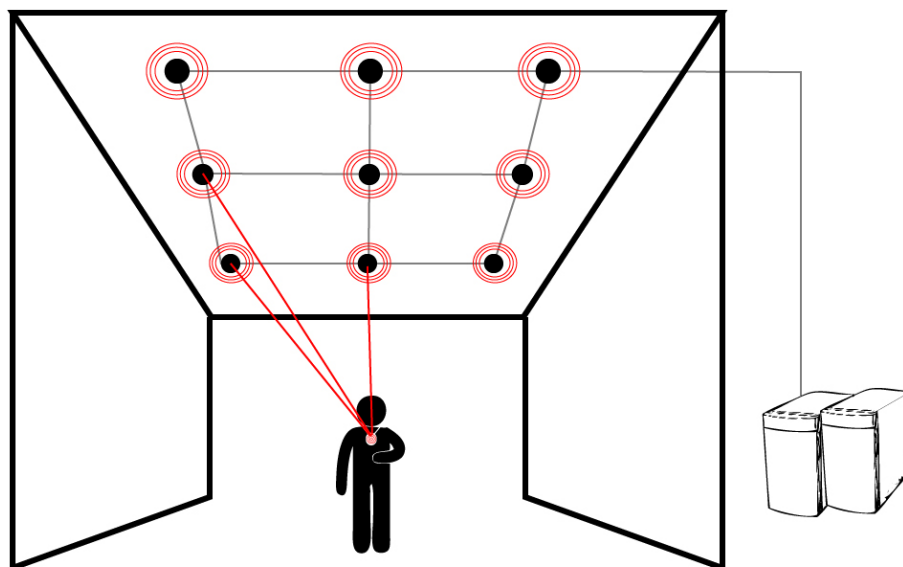


Figura 4.5: Active Bat

condizioni, i dati relativi alla posizione dal ricevitore al sistema centrale.

Cricket è inoltre un sistema misto poiché il collegamento RF che garantisce il dialogo tra il ricevitore e la centrale può essere utilizzato per ricavare la posizione in caso di mancanza di segnale audio.

La precisione del sistema è attorno ai 10cm, mentre per l'accuratezza di angolo si parla di 3° . Lo svantaggio più grande è dovuto all'impiego massiccio di energia per sostenere il sistema.

4.1.4 Ultra-Wideband

L'ultra-wideband (UWB) nasce per sopperire ai problemi di distorsione su multi canale di cui soffre il sistema a frequenze radio.

Gli impulsi che sono emessi da un sistema UWB hanno una durata molto corta (dell'ordine del nano secondo) e offrono una maggiore accuratezza potendo

filtrare il segnale di ritorno da quello di andata trasmesso dal trasmettitore. L'impiego di tale tecnologia per determinare la posizione di oggetti o device è data dall'ottima resa che possiede in ambienti interni. Grazie al tipo di impulso che emette, non soffre di disturbi dovuti ad oggetti o persone presenti nell'ambiente e nemmeno di problemi di rifrazione del segnale o di scarsa intensità [9].

Un sistema che si basa sulla tecnologia a ultra-wideband è quella sviluppata da Ubisense [10]. Questa azienda si occupa di integrare grandi catene di montaggio con sistemi di localizzazione, che offrono pieno controllo di tutto il processo a chi le deve gestire.

Il sistema fa uso delle tecniche di AOA e TOA per il calcolo della posizione del ricevitore. Il sistema è più complesso dei precedenti ed è necessario materiale specifico per poterlo mettere in pratica. Si compone infatti di una serie di tag attivi, di sensori e del software per poterlo gestire. I sensori sono disposti lungo il percorso desiderato, mentre i tag attivi vengono installati sull'oggetto che si desidera tracciare. Mentre l'oggetto (che nel caso specifico potrebbe essere la carrozzeria di una autovettura in fase di costruzione) attraversa ogni sensore, il tag emette un impulso UWB il quale viene poi trasmesso dai sensori al server centrale per calcolare la posizione effettiva.

Comparandolo con un sistema a radiofrequenza, questo risulta essere molto più accurato, offrendo un errore dell'ordine dei 15 centimetri e garantendo la posizione nelle tre dimensioni. È inoltre da sottolineare che, grazie alla tecnologia a UWB è possibile avere informazioni su un oggetto in movimento anche 20 volte al secondo.

Per quanto riguarda i costi di realizzazione di tale sistema i costi sono ancora elevati. Questo e il fattore di dover gestire Hardware specifico lo rende ancora un sistema elitario.

4.2 Smartphone

Tutti i sistemi sopraelencati offrono ottimi risultati. Come vedremo nel capitolo seguente però una delle caratteristiche fondamentali per il successo di un sistema di localizzazione è la scalabilità.

I sistemi che abbiamo analizzato fin'ora presentano quindi tutti un grande svantaggio: hanno bisogno di Hardware specifico per essere utilizzati. Inoltre è da sottolineare il fatto che molti sistemi studiati per migliorare le prestazioni sono combinazioni di più tecnologie differenti come il sistema SVG[39] che combina il WLAN con l'Ultra-Wideband. La domanda da porsi quindi è: come sarebbe possibile poter dotare gli utenti di grandi edifici pubblici, come ospedali o impianti sportivi, di tutta la strumentazione necessaria per poter essere tracciati?

Negli ultimi anni il diffondersi di device intelligenti sta rivoluzionando il modo di operare in vari settori. Grazie proprio agli *smartphone* ogni giorno siamo in grado di portarci in tasca un dispositivo al cui interno possiamo trovare moltissimi sensori e infrastrutture che possono essere sfruttate come ricevitori del nostro sistema di localizzazione.

Un dispositivo di fascia media è ormai dotato nativamente di: ricevitore cellulare, GPS, Wireless, Bluetooth, accelerometro, giroscopio e sensore di luminosità.

Sebbene, come più volte ripetuto, il GPS sopperisce alle esigenze di localizzazione esterna, in base a quanto riportato da CISCO [13] il 70% delle chiamate da cellulare viene effettuato all'interno di edifici. È quindi naturale che, con tutti i sensori disponibili, la possibilità di usufruire di tale tecnologia sia al centro dei più recenti studi in materia di localizzazione indoor.

Giroscopio e Accelerometro

Proprio dall'idea di poter sfruttare device tanto ricchi di opportunità, Yi Sun, Yubin Zhao e Jochen Shiller presso l'università di Berlino studiano un sistema basato su accelerometro e giroscopio[14]. Il loro studio parte dal presupposto che, per quanto possano essere efficienti i sistemi di localizzazione basati su WLAN per ambienti interni, hanno la limitazione di dover coprire l'intera area di interesse con onde radio. In alcuni casi questo non è possibile a meno di interventi costosi sull'ambiente di interesse. Il loro sistema, basandosi solamente su accelerometro e giroscopio, che da qualche anno a questa parte caratterizzano la maggior parte degli *smartphone*, è indipendente dall'ambiente a parte una connessione con il server che effettuerà i calcoli runtime.

Come è noto, esistono però vari problemi relativi all'utilizzo di questi sensori, per calibrazione e sensibilità, che fanno scalare il risultato man mano che si accumulano errori di rilevazione. Inoltre velocità e distanza dovranno essere dati derivati poichè l'accelerometro non è usato per calcolarli direttamente, ma tramite il conto dei passi effettuati dall'utente e dalla loro lunghezza. Il giroscopio invece viene utilizzato per determinare la direzione con cui procede l'utente.

Per riuscire a ridurre il più possibile gli errori è stato necessario quindi applicare algoritmi per eliminare le influenze da movimenti accidentali o false rilevazioni. Per prima cosa si è eliminata la rilevazione del movimento quando il dispositivo è ruotato sui suoi stessi assi, che significherebbe che non è avvenuto una variazione di posizione ma solamente un'inclinazione o rotazione. Altro errore eliminato, tramite l'algoritmo ZVC (Zero Velocity Compensation), è quello della percezione di riduzione della velocità tra un passo e quello successivo.

Il passo successivo è quello di riconoscere il movimento, il cambio di direzione, la partenza e la fermata. Tutte queste variazioni sono calcolate in

considerando lo *smartphone* in mano all'utente.

Dai test effettuati il sistema appare abbastanza preciso, considerando che lo *smartphone* è stato utilizzato da persone di varia altezza e peso.

Microfono e casse

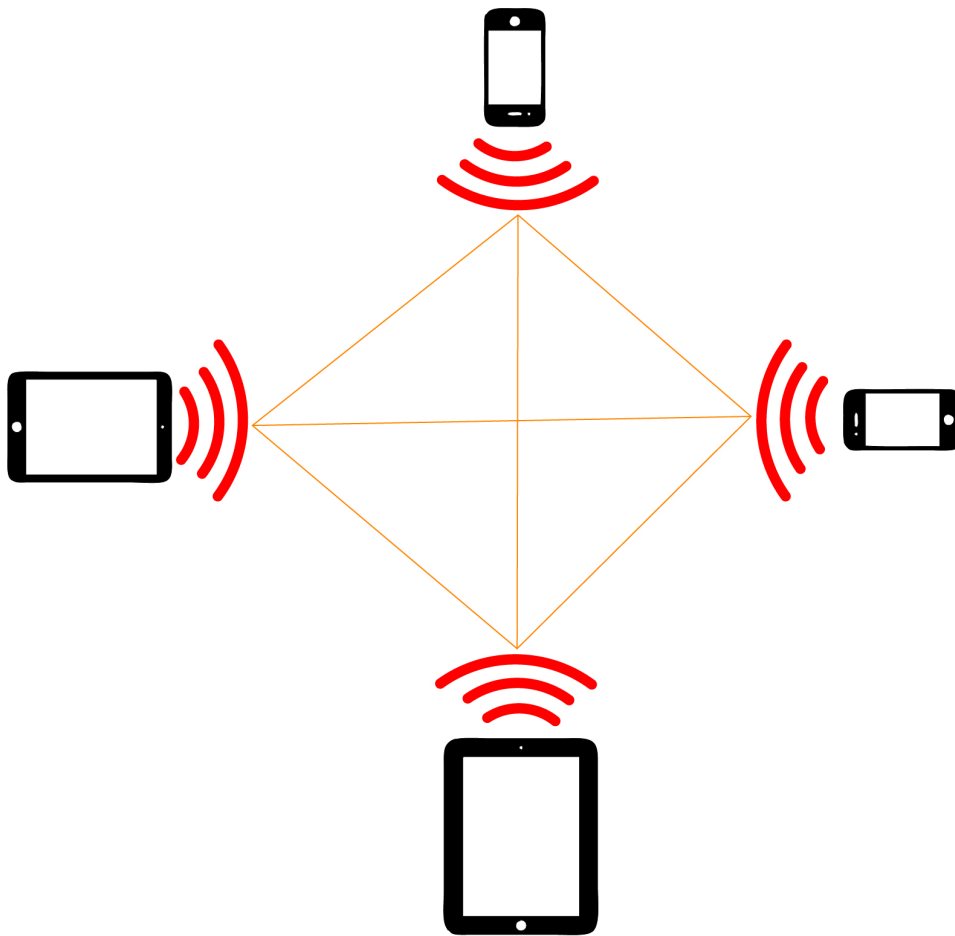


Figura 4.6: Posizione tra smartphone connessi in locale

Un altro interessante sistema che sfrutta *smartphone* ci è fornito da Jun-Wei Qui, Chi Chung Lo, Cheng-kuan Lin, Yu-Chee Tseng in *A D2D Relative*

Positioning System on Smart Devices. Il loro obiettivo di ricerca è stato quello di creare una rete locale di dispositivi capace di trasferire dati e determinare la posizione di ogni dispositivo connesso. In questo modo ogni persona connessa a questa rete è in grado di capire a chi sta mandando i dati grazie alla consultazione della mappa (o meglio grafo) delle posizioni degli altri partecipanti che rispecchia la reale disposizione delle persone nella stanza.

È quindi interessante vedere come hanno scelto di creare il grafo delle posizioni. Partendo dal presupposto che ogni dispositivo, che sia smartphone o tablet, sia dotato di due casse audio e un microfono, il sistema opera in due fasi: connessione iniziale alla rete, determinazione della posizione.

Per la prima fase si possono sfruttare tecnologie classiche come Bluetooth o Direct WiFi. Per la seconda fase invece si fa uso della tecnologia denominata **BeepBeep** [16]. In questa tecnica viene sfruttata la distanza tra il microfono e le casse del dispositivo, che deve essere nota a priori. Una volta connessi alla stessa rete, ogni dispositivo emette un suono identificativo. Quando tutti i dispositivi hanno finito la trasmissione, condividono i dati raccolti sul tempo impiegato dal suono per raggiungere un altro dispositivo e per coprire la distanza microfono-casse dello stesso dispositivo. L'obiettivo è quello di rendere indipendente dalla sincronizzazione questo passaggio, in modo che ogni dispositivo possa essere utilizzato. Successivamente ogni device costruisce il grafo dei nodi connessi, in base alle informazioni raccolte. In questo modo ogni dispositivo avrà un grafo con le possibili posizioni di ogni altro device in base alla propria posizione.

Il passaggio successivo è quello di condividere i grafi calcolati con gli altri partecipanti. Così facendo è possibile generare il grafo finale interpolando i dati calcolati da ogni dispositivo.

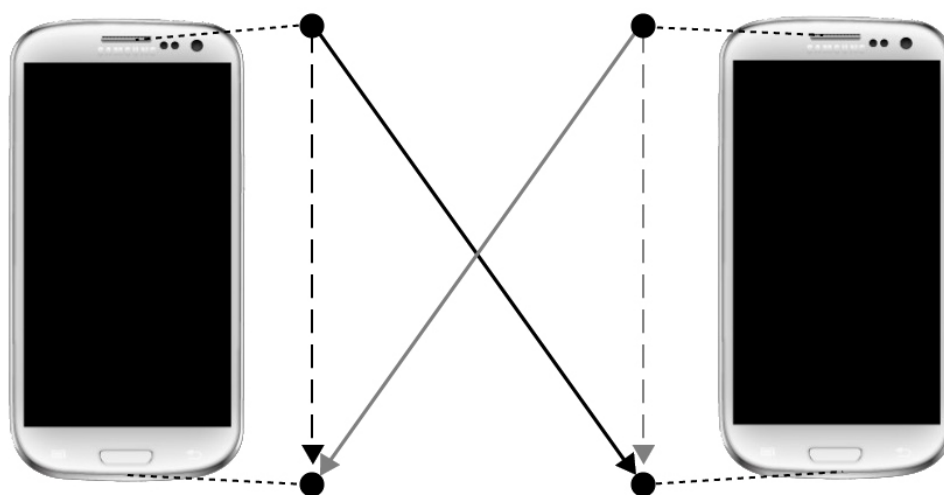


Figura 4.7: Posizione tramite audio su smartphone

Capitolo 5

Comparazioni

Come abbiamo potuto vedere nella sezione precedente, ogni tipo di sistema di localizzazione ha le proprie caratteristiche che ne determinano l'usabilità a seconda dello scenario a cui deve essere applicata. L'accuratezza è sicuramente un punto fondamentale e discriminante della scelta del sistema, ma non è l'unico. Andiamo quindi ora a descrivere, grazie al lavoro di Hui Liu, Darabi, H. Banerjee, P. Jing Liu [5] le altre peculiarità che si è obbligati a valutare quando si parla di sistemi di localizzazione.

Accuratezza

L'accuratezza (o errore di localizzazione) è sicuramente il requisito principale di un sistema di localizzazione. È definita come la stima dell'errore tra la posizione calcolata e quella effettiva dell'oggetto valutato. Viene calcolata tramite la media Euclidea della stima della posizione reale. Sebbene sia la caratteristica che classifica meglio un sistema, è grande il compromesso tra l'accuratezza e altri parametri che spesso influire sulla scelta finale.

Precisione

La precisione con la quale il sistema opera è un'altra discriminante. Come abbiamo visto l'accuratezza è il calcolo dell'errore tra la reale posizione e quella calcolata. La precisione invece è la caratteristica che garantisce al sistema una operabilità efficace in ogni situazione. Maggiore è la precisione con la quale il sistema opera, più probabilità ci sono di ottenere un risultato quantomeno soddisfacente. Essendo applicati ad oggetti in movimento e spesso in ambienti che risultano essere in continua mutazione, una buona precisione di calcolo garantisce al sistema di essere affidabile e garantire il risultato sperato.

Complessità

La complessità del sistema è considerata in base all'Hardware, al software e alle operazioni per installare e diffondere il sistema. Se il sistema è basato su una unità server centrale, la complessità algoritmica è facilmente calcolabile, mentre se si tratta di un sistema distribuito la complessità si alza sensibilmente. Altro aspetto da considerare quando si parla di complessità è rispetto al tempo necessario a calcolare il risultato. Sono inoltre da valutare le operazioni di manutenzione necessarie per lo svolgimento ottimale del lavoro del sistema, oltre quindi al numero di componenti necessari.

Affidabilità

Un sistema di localizzazione è affidabile se in ogni situazione può funzionare anche quando qualche dato non è reperibile o qualche valore, ad esempio di RSS, non è mai stato riscontrato prima. Se quindi un segnale è momentaneamente disturbato da agenti esterni, il sistema affidabile cerca di derivare la posizione grazie ad altre misurazioni. Altro caso se alcune unità di recupero dati, come sensori o lettori, sono danneggiati e producono dati non

compatibili con le aspettative. Anche in quel caso il sistema deve garantire il massimo dell'operabilità possibile.

Scalabilità

La scalabilità di un sistema assicura il normale funzionamento quando la dimensione dell'area o i dati da analizzare aumentano. In genere quando la distanza tra sorgente e ricevitore si incrementa è normale un peggioramento della prestazione. Inoltre la scalabilità del sistema è riferita a due fattori: geografia dell'ambiente e densità dei dati disponibili. Per la prima, si deve garantire che tutta l'area di interesse sia coperta dal sistema, e scalare il sistema nel caso si ingrandisca nel tempo o si abbia l'esigenza di passare da una localizzazione 2-D a una 3-D (più piani di uno stesso edificio). La densità è in riferimento al numero di unità allocate nello spazio. Nel caso questa densità aumenti, un sistema scalabile deve garantire l'assenza di congestione delle informazioni ricevute.

Costi

I costi di un sistema di localizzazione possono dipendere da molti fattori: soldi, tempo, spazio, peso ed energia. Tutti questi dipendono strettamente dal tipo di sistema, se ad esempio richiede componentistiche specifiche oppure sfrutta strutture già esistenti nell'ambiente, e influiscono su prezzi iniziali e accuratezza del sistema. Altri costi sono dovuti allo spazio e al peso che il sistema deve occupare, in ambienti molto ristretti come ad esempio una basca strumentazione poco ingombrante sarà preferibile, e ai costi di mantenimento. Tra questi costi da considerare anche quelli dovuti all'energia di cui il sistema ha bisogno: esistono soluzioni che prevedono utilizzo di unità a basso consumo energetico o nullo, come ad esempio i tag RFID passivi, mentre per altri tipi di sistemi l'alimentazione del sistema è un problema da valutare. Sempre in

tema energia alcuni sistemi hanno bisogno di manutenzione costante per il cambio di eventuali batterie con poche ore di autonomia.

Tabelle

Nella figura 4.5 tratta dal survey sopracitato [5], vengono comparati alcuni dei sistemi outdoor e indoor tra loro, in base all'accuratezza e precisione di localizzazione. Come si può vedere le fasce sono state divise tra i sistemi che possono essere utilizzati solamente in ambiente esterno, quelli per ambiente interno e i sistemi che possiamo applicare sia indoor che in piccole aree esterne.

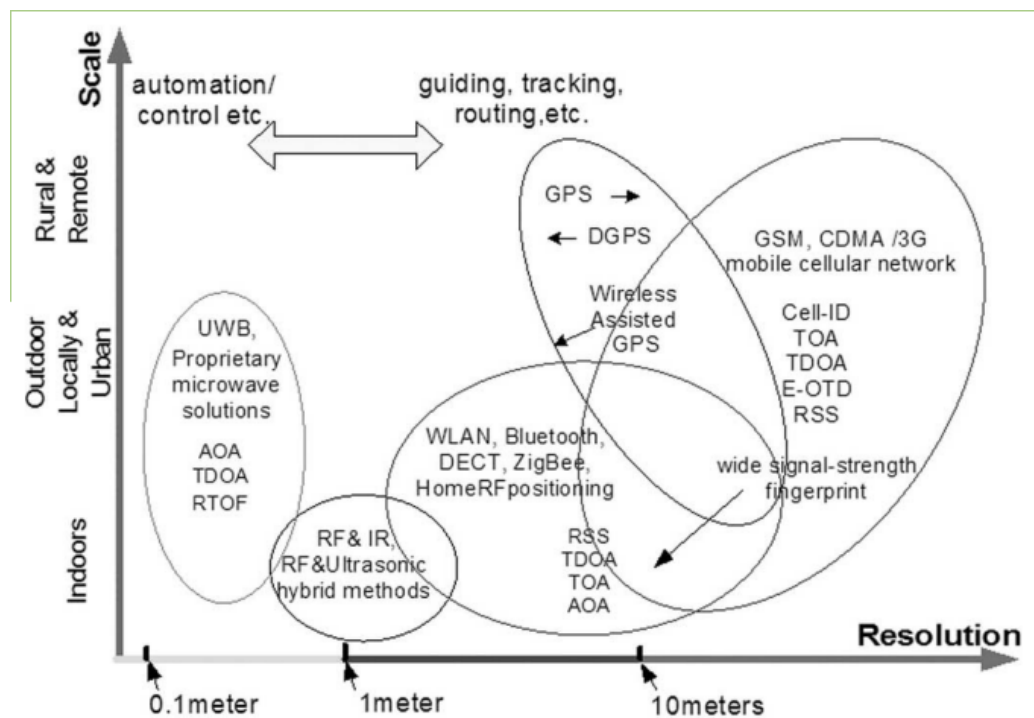


Figura 5.1: Comparazione tra i sistemi di localizzazione

Di seguito riporterò alcuni dati tratti da A Survey of Indoor Positioning and Object Locating Systems [8] e da A Survey of Indoor Positioning Systems

for Wireless Personal Networks [6].

Come possiamo vedere per i sistemi outdoor lo standard più affidabile e che garantisce maggior successo è sicuramente il GPS. In mancanza di questo, altri sistemi possono essere usati ma con aspettative di risultato molto minori. Per quanto riguarda invece la ricerca della posizione in ambiente interno non esiste uno standard universale, ma ad ogni applicazione è bene valutare le caratteristiche dell'ambiente e dell'obiettivo per poter scegliere il sistema che meglio si adatta alle esigenze.

È però buona pratica, per ottenere migliori risultati e per abbattere i costi, quella di combinare più tecnologie traendo vantaggi ed eliminando i problemi a cui ognuna è soggetta.

Tabella 5.1: Panoramica sui sistemi analizzati

Sistema	Accuratezza	Range	Metodo	Costo	Affidabilità
GPS	1-5m	globale	TOA, triangolazione	alto	alta
Rete Cellulare	50 m	esterno	AOA, TOA	medio	media
Badge Attivi (IR)	7 cm	5m	TOA, triangolazione	basso	media, influenzato da agenti esterni come la luce
Firefly [12]	0,3 cm	7 m	TOA, AOA	alto	media, influenzato da agenti esterni come la luce
WLAN	3 m	Stanze, edifici piccoli	RSS, triangolazione	moderato	bassa, dipendente da molti fattori
Bluetooth	2-3 m	Stanze, edifici piccoli	RSS, triangolazione	alto	medio, se combinato alto (Topaz)[6]
Active Bat	3 cm	Stanza	TOA, triangolazione	alto	media, influenzata dalla rifrazione
Cricket	10 cm	Stanza	TOA, triangolazione	basso	alta
UWB	10 cm	15 m	TOA	alto	alta

Capitolo 6

Casi d'Uso

I sistemi di localizzazione sono stati studiati negli anni per venire incontro alle esigenze di utenti e corporazioni. Per meglio chiarire in quanti ambiti, anche molto distanti tra loro, è possibile utilizzarli per migliorare la vita, produttività e mettere in sicurezza persone o oggetti, andiamo ora a descrivere alcuni scenari di uso sia interno che esterno dei principali sistemi di localizzazione.

6.1 Scenari Outdoor

Lo scenari di maggior interesse quando si parla di ambiente esterno è rappresentato dal GPS.

Migrazioni di animali

Tutti noi siamo ormai abituati all'utilizzo di navigatori satellitari da auto che permettono di raggiungere ogni destinazione grazie al GPS e alla mappa precaricata.

Un caso più interessante ci è però fornito da Valeria Galanti, Guido Tosi, Rossella Rossi e Charles Foley in *THE USE OF GPS RADIO-COLLARS TO*

TRACK ELEPHANTS L(OXODONTA AFRICANA) IN THE TARANGIRE NATIONAL PARK (TANZANIA).

Nel loro studio il GPS viene utilizzato per tracciare le rotte migratorie degli elefanti Tarangire National Park in Tanzania. Nell'aprile del 1997 vennero installati a cinque femmine di elefante, provenieneti da cinque zone diverse del parco, collari GPS. I collari erano inoltre forniti di una memoria non volatile, un modem radio per le comunicazioni e un tramettitore VHF (Very High Frequency). Gli operatori potevano comunicare con il collare tramite una base di controllo collegata ad un computer. L'accuratezza stimata del GPS era di 25 metri e i dati sono stati raccolti nei mesi tra Novembre 1997 e Aprile 1998.

Grazie ai dati raccolti i ricercatori hanno potuto vedere come: 3 elefanti si siano spostati maggiormente nella fascia nord del parco andando qualche volta fuori dal parco protetto di 20 km, mentre le 2 catturate nella parte sud hanno viaggiato totalmente all'esterno della zona protetta spostandosi di 80 Km a sud-est. Il raggio che hanno coperto gli animali da casa varia tra i 160 e i 600 km per gli esemplari del nord, e tra i 2100 e i 3300 km per quelli del sud. Dai dati è stato inoltre possibile vedere come gli esemplari che hanno viaggiato al di fuori del parco lo hanno fatto tra le 16 e mezzanotte, mentre quelli che sono rimasti entro i confini hanno percorso maggiore strada di giorno, tra le 8 e le 16.

Dal loro considerazioni finali si è capito come il sistema GPS come mezzo di raccolta delle informazioni utili sull'uso dello spazio e dei movimenti di elefanti, abbia aiutato lo studio per lo sviluppo di strategie di conservazione a lungo termine per grandi erbivori in tutta l'area Tarangire. Tra i vantaggi del sistema hanno quindi elencato: la possibilità di registrare molte posizioni contemporaneamente con un errore dell'ordine dei 25 m e la possibilità di tracciare gli animali giorno e notte in ogni condizione atmosferica. Tra gli svantaggi che hanno riscontrato riguardano i collari, in particolare: il costo

iniziale per collari (6800\$ l'uno) e dell'unità di comando, e la difficoltà di intervenire in caso di problemi tecnici ai dispositivi trasportati dagli animali.

6.2 Scenari Indoor

Di maggior interesse sono i casi di utilizzo delle tecnologie di localizzazione per gli ambienti chiusi. Di seguito analizzeremo alcuni scenari che potrebbero interessare l'uso di tali tecnologie e in che modo cambiano la permanenza degli utenti in ambienti interni.

Centro Fitness

Questo scenario è stato selezionato da una serie proposta da il Information Societies and Technologies MAGNET Beyond project [17]. Molte persone sono interessate a tenersi in salute praticando attività sportiva in palestre attrezzate. L'utente già regolarmente registrato possiede un piano settimanale di esercizi e un dispositivo mobile. Quando entra nei locali del centro, il dispositivo rileva la sua presenza all'interno e attiva il sistema di posizionamento che provvede a fornirgli le informazioni sui servizi attivi e i macchinari in funzione.

Prima di iniziare il programma di allenamento ha bisogno di essere pesato per vedere i miglioramenti della seduta. Camminando su una scala attrezzata verrà quindi pesato e le informazioni verranno raccolte dal sistema centrale e salvate nel database personale dell'utente per comparazioni future.

Successivamente l'utente utilizzerà varie macchine. Quando inizia l'utilizzo di una di esse, il sistema rivela la sua posizione ed è in grado di fornirgli molteplici informazioni di utilizzo e guida all'uso. Se ad esempio l'utente sale sul tapis roulant il sistema inizia la rilevazione dei parametri vitali. Qualora il ritmo cardiaco fosse troppo elevato, che significa che non potrà sostenere la velocità da lui impostata, il sistema informerà il tapis roulant di decre-

mentare la velocità.

Una volta finito l'allenamento saranno disponibili le informazioni sulla sua condizione e altri parametri di controllo dello stato di forma.

Ospedale

In un ospedale sono molteplici i vantaggi che un sistema di localizzazione può offrire. Nel caso in cui i dispositivi vitali siano dotati di rilevatore, il sistema potrà in ogni istante determinare la loro posizione nel caso in cui siano stati spostati dalla loro base originale. È inoltre una informazione utile sapere se un determinato macchinario sia o meno disponibile o funzionante. Nel caso infatti sia stato spostato in una camera, il dispositivo risulterebbe in utilizzo perchè non più nella posizione solita. La perdita di tempo per la ricerca di macchinari costa ogni anno salute e soldi. Si calcola [18] che se ogni infermiera di un grande ospedale (200 infermiere) perde 12 minuti al giorno per la ricerca di una macchina, all'ospedale costa 3,6 milioni di dollari l'anno.

Se ben integrata con i dispositivi medici presenti nell'ospedale, il sistema di localizzazione potrà aiutare i dispositivi a comunicare tra loro, poichè saranno in grado di determinare la presenza o meno di un determinato macchinario. È inoltre importante per la manutenzione ordinaria e straordinaria e per prevenire eventuali malfunzionamenti, intervenendo tempestivamente, in caso di guasto, sul dispositivo interessato. Anche per i tecnici che operano interventi di aggiornamento o revisione è importante conoscere la posizione, oltre alle altre informazioni come il seriale o la versione di sistema, di ogni dispositivo. Un dispositivo equipaggiato dal sistema di posizionamento potrebbe cambiare le impostazioni in base alle preferenze. Ad esempio, gli allarmi di un monitor potrebbero essere messi silenziosi quando un paziente entra in sala operatoria (un processo manuale di oggi), e tornare sonori quando il paziente lascia la stanza.

Dal punto di vista dei pazienti invece i vantaggi di un sistema di posizionamento sono molteplici. Se un paziente è costretto a letto e il sistema rileva uno spostamento, automaticamente comunica alla sala infermiere la necessità di intervento poiché probabilmente il paziente sarà caduto dal letto. Una soluzione simile potrebbe essere adottata anche per i pazienti che hanno necessità di maggiori attenzioni anche se non fermi a letto, come i malati di Alzheimer.

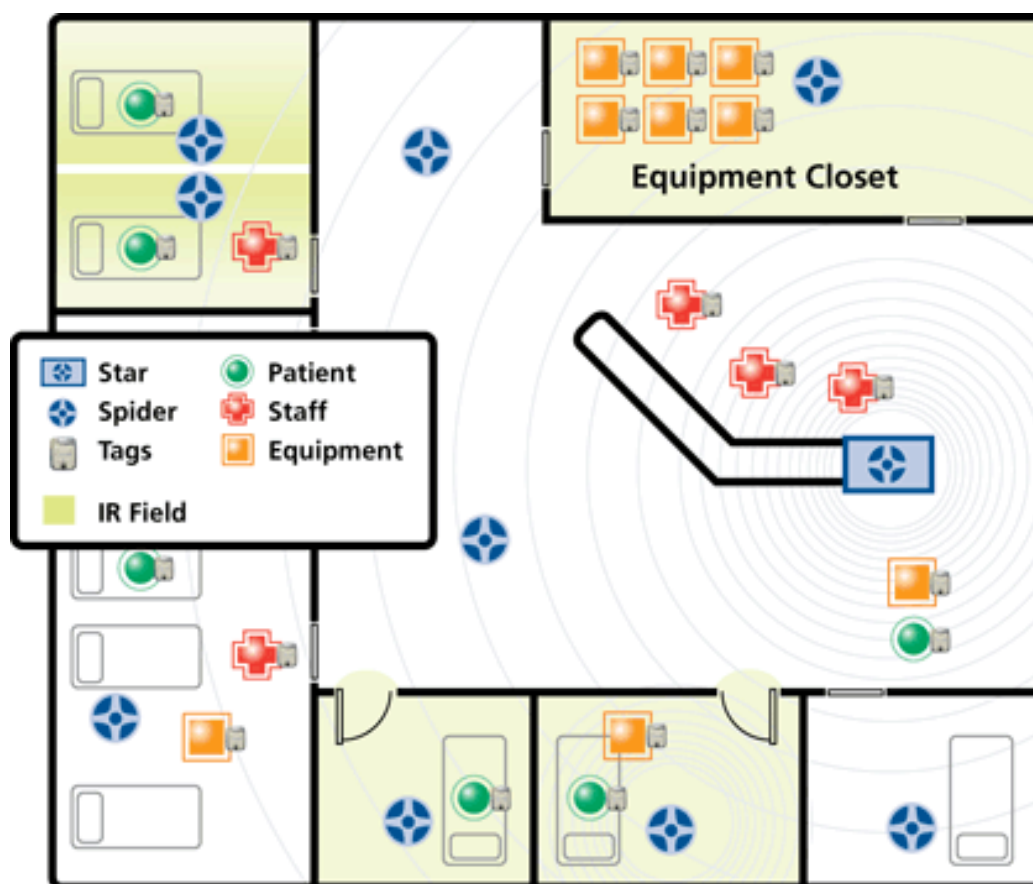


Figura 6.1: Esempio di localizzazione in ospedale

Conclusioni

La localizzazione tramite sistemi mobili è un ambito interessante e ricco di sbocchi pratici. Come abbiamo visto l'utilizzo che se ne può fare è molteplice e interessa una gamma molto vasta di utenti. Un'azienda, un ospedale, una scuola che vogliono pieno controllo degli utenti o dei macchinari in esse presenti hanno oggi giorno la possibilità di installare un sistema che meglio si adatta alle proprie esigenze, potendo inoltre attingere alle caratteristiche dell'uno o dell'altro operando soluzioni miste. Lo sforzo di partenza per poter equipaggiare l'edificio con un sistema di localizzazione efficace è spesso elevato, ma i vantaggi, come abbiamo visto in alcuni casi d'uso, sono molteplici. Per quanto riguarda invece l'utilizzo di queste tecnologie in ambiente esterno lo standard GPS, grazie alla precisione e alla robustezza del servizio, ha di fatto eliminato le alternative, le quali vengono utilizzate solo in casi speciali quando non è possibile utilizzare il GPS.

Seppur grandi i vantaggi di poter disporre di tali tecnologie, grandi sono anche le responsabilità etiche e di tutela della privacy. Nel mondo di oggi siamo abituati ad avere una intensa attività pseudo-pubblica derivante dai social network che ci ha aperto le porte verso la pubblicizzazione dei nostri stati d'animo, pensieri e della posizione in cui ci troviamo. È quindi molto difficile pensare che questi dati non possano venire utilizzati a scopi di marketing o di ricerche di mercato. L'utilizzo delle tecnologie di localizzazione sono un tassello aggiuntivo che permette grandi benefici nella vita di tutti i giorni, ma anche un'esposizione molto elevata dei nostri dati sensibili e personali.

Pensiamo infatti al caso d'uso della palestra, l'utente usufrisce di tali servizi quando è fisicamente all'interno del centro, ma una volta uscito non vorrà più essere tracciato negli spostamenti.

A questo si aggiunge anche il trattamento dei dati che vengono forniti da questi sistemi. Sia in ambito outdoor che indoor la possibilità dei gestori del servizio (come può essere il GPS con gli Stati Uniti) hanno la responsabilità dei dati analizzati di milioni di utenti.

Come in moltissimi altri ambiti (telefonia, internet o altri servizi pubblici) la scelta spetta all'utente. Se il sistema è considerato affidabile e offre servizi che l'utente reputa indispensabili, sarà disposto a farsi tracciare per usufruirne, come ad esempio accade ogni giorno con la navigazione stradale tramite GPS. Viceversa, se il sistema non è reputato affidabile, dovrà essere l'utente che rifiuta il servizio, come potrebbe accadere nella situazione della palestra se l'utente reputa che il compromesso tra godere dei servizi e la propria privacy sia svantaggioso.

Le grandi aziende che offrono servizi di questo tipo hanno la possibilità di tracciare milioni di utenti e di utilizzare i dati per offrire informazioni utili in tempo reale su posizione e spostamenti. Queste aziende sono però in grado, tramite i parametri raccolti, di inviare all'utente pubblicità mirata in base anche alla posizione geografica o agli ultimi spostamenti.

Non ci sono vantaggi senza compromessi e l'impiego di queste tecnologie rappresenta il futuro per molti servizi oggi inesistenti o affidati alla vigilanza umana.

Bibliografia

- [1] Guier, William H., and George C. Weiffenbach. *Genesis of satellite navigation*. Johns Hopkins APL technical digest 19.1 (1998): 15.
- [2] Krejsa, J., and S. Vechet. *Infrared beacons based localization of mobile robot*. Elektronika ir Elektrotechnika 117.1 (2012): 17-22.
- [3] Johannes Bolz, *Indoor Positioning using NFC Tags*.
- [4] <http://spatial.usask.ca/project/position.php>, Positioning, Geocoding, and Navigation Indoors, 2014
- [5] Hui Liu, Darabi, H. Banerjee, P. Jing Liu, *Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems*. Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, IEEE Transactions on (Volume:37 , Issue: 6), 2007 .
- [6] Yanying Gu, Anthony Lo, Senior Member, IEEE, and Ignas Niemegeers, *A Survey of Indoor Positioning Systems for Wireless Personal Networks*, IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS, VOL. 11, NO. 1, FIRST QUARTER 2009.
- [7] Fantini Enrico, *iBeacon Una nuova tecnologia per la localizzazione in ambienti chiusi*, 2014.

-
- [8] Koyuncu, Hakan, and Shuang Hua Yang. *A survey of indoor positioning and object locating systems. IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security* 10.5 (2010): 121-128.
- [9] Conti, Mazuelas, Yuan Shen, Gifford, Dardari, Chiani, *Network localization and navigation via cooperation*, Communications Magazine, IEEE (Volume:49 , Issue: 5), 2011.
- [10] <http://www.ubisense.net/en/>.
- [11] LIONEL M. NI, YUNHAO LIU, YIU CHO LAU and ABHISHEK P. PATIL, *LANDMARC: Indoor Location Sensing Using Active RFID*, 2004.
- [12] <http://www.fireflyrfidsolutions.com/>, Firefly RFID Solutions, 2014
- [13] Evans, Dave. *The internet of things: how the next evolution of the internet is changing everything*. CISCO white paper 1 (2011).
- [14] Yi Sun, Yubin Zhao, Jochen Shiller, *An Aututonomic Indoor Positioning Application based on Smartphone*, 2014.
- [15] Jun-Wei Qui, Chi Chung Lo, Cheng-kuan Lin, Yu-Chee Tseng, *A D2D Relaiive Positioning System on Smart Devices*, 2014.
- [16] C. Peng, G. Shen, Z. Han, Y. Li, K. Tan, *Beep-Beep: a high accuracy acoustic ranging system using cots mobile devices*, Proceeding SenSys '07 Proceedings of the 5th international conference on Embedded networked sensor systems Pages 1-14, 2007.
- [17] <http://www.ist-magnet.org/>, Power of 4G Network, 2014.
- [18] Realizing the Power of an Indoor Positioning Solutions (IPS). <http://www.radianse.com/>

- [19] http://support.radioshack.com/support_tutorials/gps/gps_tmline.htm, A Guide To The Global Positioning System (GPS), 2014.
- [20] George Weiffenbach William Guier, *Genesis of Satellite Navigation*, JOHNS HOPKINS APL TECHNICAL DIGEST, VOLUME 19, NUMBER 1 (1998).
- [21] Thang Van Nguyen, Yougmin Jeong, Hyundong Shin, *relevance vector machine for UWB location*, 2014.
- [22] Wang, Chuyu, Lei Xie, and Sanglu Lu. *Search for a Needle in a Haystack: an RFID-based Approach for Efficiently Locating Objects*.
- [23] Kaemarungsi, Kamol, and Prashant Krishnamurthy. *Modeling of indoor positioning systems based on location fingerprinting*. INFOCOM 2004. Twenty-third Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Vol. 2. IEEE, 2004.
- [24] Navstar, G. P. S. *User equipment introduction*. Department of Defense Document MZ10298 1 (1996).
- [25] John Pike. *GPS III Operational Control Segment (OCX)*. Globalsecurity.org. Retrieved December 8, 2009.
- [26] <http://www.astronautix.com/craft/tsiklon.htm>, Encyclopedia Astronautica, *Tsiklon*
- [27] <http://glonass-iac.ru/en>, Federal Space Agency - Information-analytical centre, 2014.
- [28] Peng, Rong, and Mihail L. Sichitiu. *Angle of arrival localization for wireless sensor networks* Sensor and Ad Hoc Communications and Networks, 2006. SECON'06. 2006 3rd Annual IEEE Communications Society on. Vol. 1. IEEE, 2006.

-
- [29] Trevisani, Emiliano, and Andrea Vitaletti. *Cell-ID location technique, limits and benefits: an experimental study..* Mobile Computing Systems and Applications, 2004. WMCSA 2004. Sixth IEEE Workshop on. IEEE, 2004.
- [30] Kaemarungsi, Kamol, and Prashant Krishnamurthy. *Properties of indoor received signal strength for WLAN location fingerprinting.* Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services, 2004. MOBIQUITOUS 2004. The First Annual International Conference on. IEEE, 2004.
- [31] N. Priyantha, A. Chakraborty, and H. Balakrishnan, *The cricket location- support system*, Proc. ACM Conference on Mobile Computing and Networking, 2000.
- [32] <http://www.astronomy.ohio-state.edu/pogge/Ast162/Unit5/gps.html>
- [33] Daigle, Leslie. WHOIS protocol specification. (2004).
- [34] http://ipinfodb.com/ip_database.php, IP address geolocation database, 2014
- [35] <http://www.recco.com/>, Recco, 2014
- [36] R. Want, A. Hopper, V. Falcao, J. Gibbons, *The Active Badge Location System*, ACM Trans. Information Systems, vol. 10, no. 1, January 1992, pp. 91-102.
- [37] "Firefly Motion Tracking System User's guide", 1999, <http://www.gesturecentral.com/firefly/FireflyUserGuide.pdf>
- [38] Bahl, Paramvir, and Venkata N. Padmanabhan. RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system. INFOCOM

2000. Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE. Vol. 2. Ieee, 2000.

- [39] C. Schmitt and O. Kaufmann, *Indoor Navigation with SVG*, <http://www.svgopen.org/2005/papers/IndoorNavigationWithSVG/index.html>, 2014

Ringraziamenti

Ringrazio la mia **famiglia** per il sostegno e la pazienza in questi anni, e per quella che dovranno avere in futuro.

Ringrazio il prof **Luciano Bononi, Luca Bedogni e Marco di Felice** per avermi entusiasmato durante le lezioni e fatto amare la materia di applicazioni mobili.

Ringrazio **Federico Nanni** che, nonostante tutto, ha sempre creduto in me.

Ringrazio i miei amici più cari **Alessandro, Davide, Simone**.

Ringrazio tutti i compagni di corso **Daniele, Federico, Stefano, Alain** dai quali ho imparato tanto.

Ringraziamento speciale per **Claudia** che ha sprecato le pause pranzo per correggere questa tesi, e **Simone** che ha fornito le bellissime immagini che vede sopra.